

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AMBIENTAL DE LOS MODOS DE TRANSPORTE EN ESPAÑA

Pedro José Pérez-Martínez, Andrés Monzón de Cáceres²*

Centro de Investigación del Transporte (TRANSyT), Universidad Politécnica de Madrid, C/Profesor Aranguren s/n 28040 Madrid, España,

e-mail: pjperez@caminos.upm.es, e-mail²: amonzon@caminos.upm.es*

RESUMEN

La consideración de los aspectos ambientales y energéticos del transporte está suponiendo un cambio de tendencia en la planificación de los modos del transporte. Se busca no sólo la eficiencia económica, sino que esta debe complementarse con la eficiencia ambiental. De hecho, estos aspectos constituyen hoy en día un elemento clave en la definición de las políticas de transporte que, progresivamente, buscan promover vehículos más limpios y energéticamente más eficientes.

El objetivo principal de este trabajo es llevar a cabo una revisión del estado del conocimiento sobre la eficiencia energética y ambiental de los distintos modos de transporte en un contexto internacional, de modo que permita conocer la situación de España a este respecto. Dicho análisis irá dirigido tanto a la definición de ratios de eficiencia energética y ambiental, como a la cuantificación de esa eficiencia.

El trabajo comenzará con un análisis de la situación actual y la evolución del consumo energético del sector transporte comparado con otros sectores económicos tanto en España como en otras regiones. Posteriormente se llevará a cabo una revisión del concepto de eficiencia energética y eficiencia ambiental, estudiándose los indicadores que se vienen empleando habitualmente. A continuación, se hará una estimación para el caso español de esos indicadores para los diferentes modos y submodos. El análisis será esencialmente de tipo macro, basado en los agregados de consumo de los diferentes modos de transporte en España. Finalmente, se establecerán un conjunto de conclusiones y recomendaciones, orientadas a la definición de propuestas y actuaciones para una orientación de la política de transportes según criterios de sostenibilidad.

Palabras clave: ahorro externalidades, política sostenible, comparativa modos

INTRODUCCIÓN: ENERGÍA, EMISIONES Y EFICIENCIA

El consumo energético del transporte en los países industrializados procede fundamentalmente de los combustibles fósiles y está asociado con los principales impactos negativos del transporte: cambio climático, contaminación atmosférica, congestión y accidentes (Sperling, 2004; Lenz et al., 2003). Las emisiones de muchos contaminantes están siendo controladas gracias a la mejora de motores y combustibles, pero las consecuencias para la salud suponen una preocupación creciente, en particular óxidos de nitrógeno y partículas, muy ligados al transporte. Por otro lado, las emisiones de CO₂ (principal gas ligado al efecto invernadero) están creciendo, siendo el transporte el sector en el que crecen con más intensidad.

La Comisión Europea, en el Libro Blanco del Transporte de 2001 (y en su revisión de 2006), afirma que la sostenibilidad del modelo energético del transporte pasa por el control de la demanda de transporte y la mejora de la eficiencia de los modos de transporte. Es ahí donde existe un mayor potencial para establecer una estrategia eficaz de actuación. Para ello se recomienda profundizar en los procesos de liberalización del transporte –para hacer llegar al usuario la señal de los precios–, el establecimiento de mecanismos que aseguren que estos precios reflejan los costes reales y la promoción del ahorro energético. Esta línea de pensamiento se ha visto reforzada en el Libro Verde de 2005 sobre Eficiencia en el uso final de la energía y servicios energéticos, donde se adelanta la idea de que en la Unión Europea es posible reducir hasta el 20% del consumo global de una forma económicamente rentable. Esta idea ha sido posteriormente ratificada por el Consejo Europeo de marzo de 2006, en su Plan de Acción, donde se establece este objetivo para el año 2020. El Parlamento Europeo y el Consejo han aprobado la Directiva 2006/32/EC, para el uso eficiente de la energía final, además de revisar una propuesta de Directiva que pretende el desarrollo de vehículos de carretera limpios y energéticamente eficientes.

En este contexto, el gobierno español aprobó la Estrategia Española de Eficiencia Energética 2004-2012 (conocida como E4) y sus correspondientes Planes de Acción 2005-2007 y 2008-2012 (IDAE, 2008; Ministerio de la Presidencia, 2006). En línea de acción con la E4 se han ido aprobando también la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, con horizontes 2007-2012-2020; también la Estrategia Española de Movilidad Sostenible y la Estrategia Española de Calidad del Aire, de 2009. Todo ello pone de manifiesto la importancia de tomar medidas en el corto plazo –horizonte 2012– y a medio plazo, para cumplir los compromisos internacionales en el horizonte 2020. La situación de partida refleja un desequilibrio, por cuanto el sector transporte supone un tercio de las emisiones de GEI, de los que la carretera es responsable del 90%.

La reducción de las emisiones de GEI en el transporte se puede lograr: reduciendo la necesidad de transporte, mejorando la eficiencia energética de los distintos modos de transporte y combustibles o equilibrando la distribución modal (Schipper et al., 1997; Steenhof et al., 2006). Las medidas que pueden aplicarse en el sector transporte desde el ahorro y la mejora de la eficiencia energética son bien conocidas en términos generales (Accut y Dodgson, 1996). Incluyen desde una asignación correcta de precios de la energía,

con su reflejo en el coste de los servicios, incluidas las externalidades; incentivos financieros y fiscales que favorezcan la reducción de la intensidad energética; la optimización de los viajes para aumentar la ocupación; la planificación conjunta de las infraestructuras de transporte y de los usos del suelo para reducir las distancias medias; el desarrollo de nuevos combustibles bajos en carbono y motores de menor consumo y el recurso a las tecnologías de las comunicaciones.

Pero la implantación de medidas, requieren de tiempo para ser efectivas y necesitan ser apoyadas por cambios en los modos de vida, que influyeran de modo efectivo el uso del transporte en las próximas décadas (Rodenburg et al., 2002; Cuddihy et al., 2005). Este proceso debe realizarse en el contexto español, en el que el movimiento de mercancías y viajeros intra e internacional se ha incrementado a ritmo superior que el crecimiento económico, contribuyendo al crecimiento del consumo de energía y de las emisiones de sustancias contaminantes.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 1995) de las Naciones Unidas y otras instituciones en la materia, consideran que el ahorro y la eficiencia energética constituyen un elemento clave durante las próximas décadas para asegurar un desarrollo sostenible, hasta que las innovaciones tecnológicas en desarrollo y aún por desarrollar puedan llegar a implantarse de forma masiva (Kahn Ribeiro et al., 2007). En este sentido, la Convención de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático destaca las principales tecnologías y prácticas comerciales de las que dispone el sector para mitigar las emisiones de GEI (UN-FCCC, 2007). Del mismo modo se reflejan las tecnologías y prácticas que pretenden ser comercializadas antes de 2030. Se trata de diseñar las bases para una economía baja en emisiones. Y será baja en emisiones si lo son los combustibles empleados en suministrar las distintas formas de energía motriz que se requieren para desempeñar la actividad de transporte y la cadena completa de transformaciones energéticas que permiten disponer de esa energía final (Van Wee et al., 2005).

Igualmente podríamos referirnos a la reducción de la concentración de contaminantes atmosféricos, para los que la Unión Europea está marcando las pautas para todos los países europeos. Muchas de las directivas en este campo proponen medidas coincidentes con las de mejora de eficiencia energética, tales como las referentes a combustibles y vehículos.

TENDENCIAS DEL SECTOR TRANSPORTE

Evolución del sector transporte y su relación con las variables económicas

Analizaremos, en primer lugar, la evolución del transporte de viajeros y mercancías, para contextualizar el posterior análisis sobre sus efectos energéticos y ambientales. En la figura 1-a pueden constatarse dos hechos tendenciales: el elevado crecimiento de los flujos de pasajeros, y que su ritmo fue más intenso que el crecimiento del PIB en el período 1990-95, moderándose en los últimos años 2000-2007, en que los crecimientos han sido paralelos. La

evolución del transporte de mercancías ha seguido la misma tendencia, aunque, en este caso, en los últimos 17 años, ha habido una correlación muy cercana entre el crecimiento económico y el crecimiento en el transporte de mercancías expresadas en toneladas-km (figura 1-b). Se comprueba que el PIB sigue una tendencia más continua que el de la demanda de mercancías que sufre cambios en función de factores estructurales y sectoriales. Estas dos tendencias están claramente vinculadas, con crecimientos anuales constantes del PIB del 2,7-2,9% y de las toneladas-km del 3,4-4%. A principios de los 90, el transporte de mercancías experimentó un estancamiento e incluso una pequeña recesión en 1995. En los años posteriores a 1995, el transporte de mercancías experimentó una aceleración. El año con el mayor crecimiento del transporte de mercancías fue 1996 (12.4%).

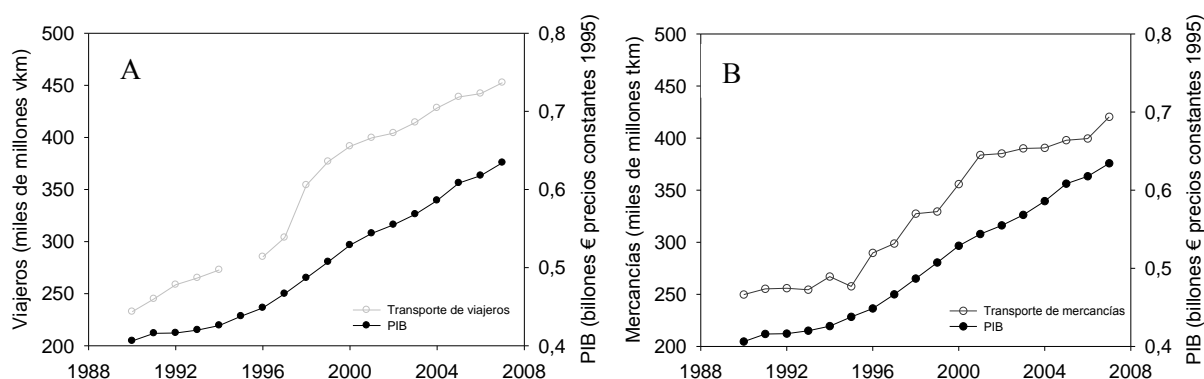


Figura 1: Demanda de transporte de viajeros y mercancías y PIB en España (1990-2007). Fuente: Pérez-Martínez y Monzón de Cáceres (2008) y INE (2008)

Por tanto, la disociación entre el crecimiento económico y los flujos que propugna el Libro Blanco de la Unión Europea de 2001 (crecer económicamente sin aumentar los flujos de transporte), no se está logrando, aunque al menos no ha empeorado, como venía produciéndose en el final del siglo pasado. Esta dependencia entre desarrollo económico y transporte podría dificultar el cumplimiento de los compromisos internacionales de emisiones de CO₂. Esta situación de dependencia es una amenaza continua para el sector en nuestro país, de aplicarse más rigurosamente los acuerdos internacionales de limitación de emisiones de GEI.

Distribución modal y comparación europea

La tendencia general del sector transporte en España indica no sólo un aumento de la actividad de transporte, sino también un creciente desequilibrio modal: el ferrocarril, en un escenario de demanda creciente, no sólo no crece en términos absolutos, sino que sigue perdiendo cuota de mercado, tanto en viajeros como en mercancías, alcanzando valores claramente inferiores a la media europea (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2008).

La elección de los distintos modos del transporte de viajeros viene determinada por el coste diferencial de los diversos modos y la calidad del servicio en los modos alternativos (Goodwin et al., 2004). Del mismo modo, en el transporte de mercancías la elección modal viene influenciada por el tipo de mercancía transportada, los costes asociados y la naturaleza de la red de transporte. En los países industrializados y desarrollados, el transporte de productos intermedios y finales es cada vez más importante, utilizándose en su mayoría camiones (Schipper et al., 1997).

En España, en 2007, el transporte por carretera representó el 90% de los viajeros-km transportados, mientras que el avión participó con el 5%, el ferrocarril con el 4,7% y el barco el 0,3%. El mayor crecimiento entre 1995 y 2007 ha correspondido al transporte aéreo (131,7%). En lo referente a las mercancías, en España, en 2007, el transporte por carretera representó el 85% de las toneladas-km transportadas, mientras que el barco participó con el 9,6%, y el ferrocarril y el transporte por tubería representaron el 2,7% cada uno. El transporte aéreo contribuye con un porcentaje menor (0,02%). El mayor crecimiento entre 1995 y 2007 ha correspondido al transporte por carretera (72,5%).

En la figura siguiente se muestra la evolución de la demanda de transporte y sus emisiones de GEI en nuestro país y en la UE-15 (1990-2007), que es el entorno de países más comparables por desarrollo y situación económica y de los transportes. Se puede constatar que en España se han seguido pautas de crecimiento mucho más aceleradas -también del PIB- que en la UE-15. Se observa, además, que el crecimiento del transporte de viajeros es mayor que el de mercancías, mientras que en Europa la tendencia es la contraria. En los últimos dos años se observa un estancamiento en España, tanto del transporte, viajeros y mercancías, como de las emisiones de GEI. Suponemos que este estancamiento será incluso retroceso en algunos sectores, cuando se disponga de datos de la crisis económica comenzada en 2008. En cualquier caso, la serie histórica pone de manifiesto la importancia del crecimiento de las emisiones en nuestro país.

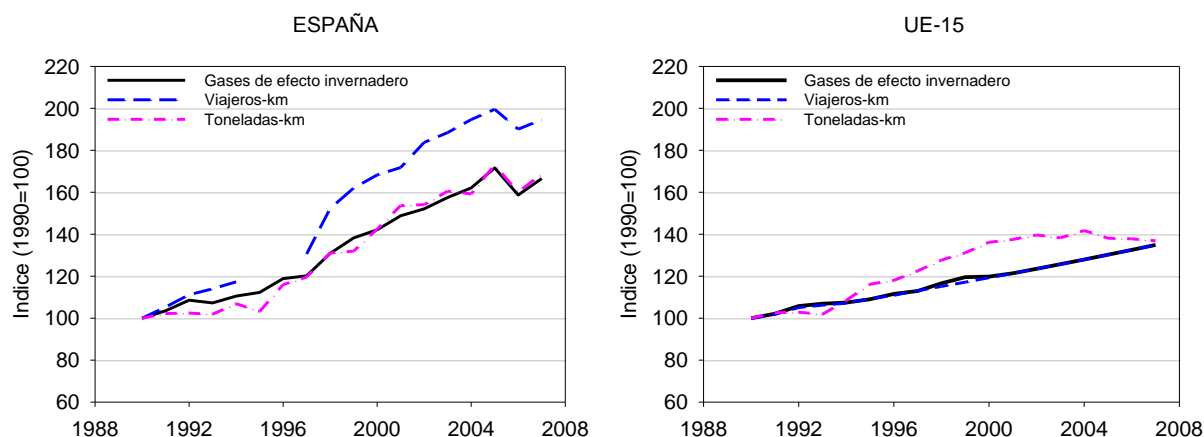


Figura 2 – Evolución demanda de transporte y GEI en España y en Europa 1990-2007. Fuente: elaboración propia a partir de Informe TERM-AEMA (2008)

COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y AMBIENTAL DEL TRANSPORTE

Consumo energético del transporte y GEI

La Unión Europea asumió en el Protocolo de Kioto una reducción de emisiones de GEI en su ámbito de un 8%, respecto a los niveles de 1990, para el horizonte temporal 2008-2012. En la distribución se asignó a España, en proceso de crecimiento entonces, un aumento del 15% en dicho período.

En 1990, el transporte en España consumía el 39,5% de la energía primaria y en 2007 el 42,2% (Ministerio de Fomento, 2008a). En 2007, el consumo final energético del sector transporte fue algo más de 41 millones de tep (toneladas equivalentes de petróleo). Además de ser el sector económico con mayor consumo final energético, el transporte es el sector con mayor consumo procedente de derivados del petróleo (73,1% en 2007). En términos absolutos, las emisiones de GEI procedentes del transporte han crecido en el periodo 1990-2007 un 66% (Ministerio de Medio Ambiente, 2008). A un ritmo de crecimiento anual de 3,2%, las emisiones pueden llegar a doblarse en poco más de 20 años. Las emisiones del transporte podrían incrementarse para 2020 en más de un 157% sobre el nivel del Protocolo de Kioto y un 196% respecto a 1990, contabilizando 193,3 millones de toneladas de carbono en 2020 (Pérez-Martínez y Monzón, 2008). El crecimiento de estas emisiones es debido fundamentalmente al transporte de viajeros por carretera en vehículos privados y al transporte de mercancías por carretera. Sólo el transporte por carretera es responsable del 83% del total de las emisiones del sector (2007).

Según el Inventario Nacional de Emisiones, en el año 2006 hubo una contracción de las emisiones de GEI, como consecuencia de la reducción del transporte de viajeros y mercancías. Sin embargo, en el año 2007 hubo un nuevo repunte de las emisiones asociado a un nuevo crecimiento del transporte. Todavía no hay datos para saber con exactitud los efectos de la actual crisis económica, pero las indicaciones apuntan con claridad a una reducción de los consumos.

El importante crecimiento de emisiones de GEI del sector del transporte no se explica sólo por el crecimiento demográfico, ni siquiera por el crecimiento económico, que tienen ratios de crecimiento menores. Eso indica que los procesos productivos en nuestro país tienen un consumo creciente de transporte, contrariamente a los objetivos comunitarios de generar crecimiento económico con menores aumentos de los flujos de transporte de viajeros y mercancías (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2008). La intensidad energética del transporte por carretera, ha pasado de 0,46 tep/habitante en 1990 a 0,71 (con un incremento del 54%). De la misma forma, la intensidad energética del transporte por carretera (a precios constantes de 1995) ha pasado de 0,045 tep/millón de euros en 1990 a 0,052 (15% de crecimiento).

En base a las fuentes de datos oficiales disponibles se han estimado el consumo de energía y las emisiones de CO₂ relativas asociados a cada tipo de flujo (viajeros o mercancías) y

modo de transporte (carreteras, ferrocarril, etc.) utilizando la metodología y los factores desarrollados por la Comisión Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 1995). Estas emisiones son directamente proporcionales al contenido de carbono del combustible utilizado en el transporte (expresado en ktCO₂eq./pegajulio). El fueloil utilizado en el transporte marítimo es el combustible con mayor contenido en carbono, seguido del diesel, queroseno (transporte aéreo) y la gasolina. A su vez, hay que considerar el carbono consumido en la energía eléctrica utilizada por los modos ferroviarios, que depende del mix de combustibles utilizado en la producción de la electricidad (Hernández-Martínez, 2006). El carbón tiene el mayor contenido en carbono, seguido del petróleo y del gas natural. Para la energía nuclear y las fuentes de energía renovable, como biomasa, hidráulica, solar, eólica y geotérmica, se asumen unas emisiones netas de carbono iguales a cero (Schipper et al., 1997). Para ello, se utilizan los coeficientes de conversión para la producción de electricidad: 0,18 toneladas equivalentes de petróleo por megavatio hora (tep/Mwh) y 10,23 kilotoneladas de carbono por pegajulio (ktC/PJ). La tabla 1 recoge los datos de consumo de combustible por tipo de vehículo y motor en el año 2007 para el caso de la carretera.

Tabla 1: Tráfico, parque y consumo de petróleo por modo y tipo de combustible, España (2007)

Modo de transporte	Tráfico Interurbano (10 ⁶ veh-km)	Parque total (vehículos)	Consumo (10 ⁶ litros)			Consumo Medio (l/100 km)
			Interurbano	Urbano	Total	
Motor gasolina						
Motos	1.751	2.311.346	113	61	174	6,4
Furgonetas	7.317	676.665	999	250	1.248	13,5
Coches	55.912	11.624.686	5.251	1.481	6.732	9,2
Todos	64.980	14.612.697	6.363	1.795	8.158	9,5
Motor diesel						
Camiones	35.510	2.765.919	10.548	673	11.221	29,5
Autobuses	1.660	61.039	467	64	530	28,0
Furgonetas	19.020	1.759.041	2.249	750	2.999	11,7
Coches	135.566	10.135.488	9.642	4.967	14.609	7,0
Todos	191.756	14.660.448	22.906	6.454	29.366	11,7

Fuente: elaboración propia a partir de D.G. Carreteras Anuario 2008, Ministerio de Fomento Informe Anual 2008a, Dirección General de Tráfico Anuario 2008, Agencia Tributaria-Ministerio de Economía 2008.

Transporte y contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica debida al transporte es responsable de distintos costes ambientales relacionados, principalmente, con los impactos sobre la salud humana, los edificios y materiales y sobre las producciones agrícola y forestal. La contaminación atmosférica no es un problema estacional, puesto que se produce durante todo el año cuando las condiciones de dispersión son favorables. En este sentido, existe una preocupación creciente sobre las consecuencias del transporte en la salud humana debidas

a las emisiones locales de ciertos contaminantes, principalmente óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas en suspensión con tamaños y composiciones químicas variables, compuestos orgánicos volátiles sin metano (COVNM) y, en menor medida, monóxidos de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x) y precursores del ozono troposférico.

Para disminuir los niveles de contaminación atmosférica, limitando las emisiones y reforzando la protección del medio ambiente y de la salud humana, se han desarrollado distintas directivas europeas. El transporte contamina cada vez menos debido a los estándares de emisión más estrictos y restrictivos para los distintos modos de transporte. Sin embargo, la calidad del aire de las ciudades no cumple en muchos casos los valores límite establecidos por las directivas europeas, y todavía sigue teniendo un impacto negativo en la salud humana.

Las emisiones de contaminantes atmosféricos siguen una tendencia decreciente de manera continuada, incluso las partículas (87,1% NO_x , 8,9% PM_{10} , 3,5% SO_x , 0,5% NH_3) y las sustancias acidificantes (89,7% NO_x , 8,4% SO_x , 1,9% NH_3) se suman a esta tendencia en los últimos años, como puede verse en la figura 3. En el total del período considerado (1990-2007) se han reducido o estabilizado todas las emisiones de contaminantes, a pesar del incremento en la demanda de transporte: las sustancias acidificantes disminuyeron un 3,2%, las precursoras del ozono (69,4% NO_x , 18,3% COVNM, 9,6% CO, 0,01% CH_4) un 24,3% y las partículas materiales (PM_{10}) disminuyeron un 3,1%, aunque como queda señalado la tendencia de los últimos años es de una clara reducción. La introducción de los estándares europeos de emisión en automóviles nuevos, y de calidad de los combustibles (especialmente debido a las concentraciones reducidas de azufre), han tenido un impacto positivo significativo.

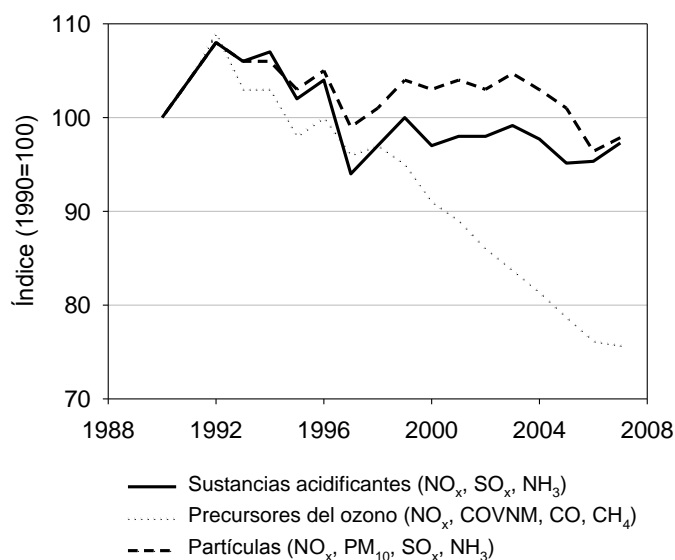


Figura 3: Emisiones totales de contaminantes atmosféricos procedentes del transporte en España, 1990–2007. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad Ambiental. Nota: Se incluyen las emisiones de todos los contaminantes atmosféricos del transporte incluidos en SNAP 7 (transporte por carretera) y 8 (otros modos de transporte y maquinaria móvil). Se excluyen las emisiones del transporte internacional marítimo y aéreo. Para más información consultar el Programa de Cooperación para el Seguimiento y Evaluación de la Contaminación Atmosférica Transfronteriza y de Largo Alcance, EMEP (2007).

Entre los contaminantes atmosféricos recogidos en la figura anterior, el más preocupante, aunque se reduzca su volumen de emisiones, son los óxidos de nitrógeno, que van asociados a la emisión de partículas. La concentración de emisiones de estas sustancias acidificantes es más preocupante en áreas urbanas pues afecta a la población, y hoy en día el transporte es la principal fuente de este tipo de emisiones.

La legislación de la UE obliga a la evaluación de la calidad del aire en todo el territorio europeo y a la implantación de planes de mejora en el caso en que se sobrepasen los valores límites fijados. La Comisión Europea ha desarrollado una Estrategia temática sobre la contaminación atmosférica, fijando objetivos y medidas dirigidos a frenar la contaminación (CE, 2007). Estos objetivos y medidas suponen un enfoque integrado que implica a las autoridades urbanas principalmente. En este sentido, la mejor gestión del tráfico podría permitir a las ciudades cumplir con esas obligaciones. En España se está desarrollando una ley básica que actualice la Ley vigente 38/1972 de Protección del Ambiente Atmosférico.

En muchas ciudades europeas, entre ellas algunas españolas, se sobrepasan los valores límite debido a la contaminación por partículas (PM_{10}) y por óxidos de nitrógeno (NO_x) procedentes del tráfico. En España, la serie de datos 1995-2006, procedentes de estaciones urbanas de control de contaminación debida al tráfico, indican que las concentraciones tanto de NO_2 (límite 2010) y PM_{10} (límite 2005) superan o están próximas a superar los valores límites establecidos de concentración de contaminantes en muchas ciudades. Las concentraciones del resto de contaminantes, por el contrario, están por debajo de los valores límite.

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y AMBIENTAL DE LOS MODOS DE TRANSPORTE

Una vez analizado globalmente la dimensión del problema, desde su vertiente ambiental y energética, conviene analizar la eficiencia, pues las cifras absolutas dependen y mucho del crecimiento de las unidades transportadas (viajeros y mercancías) en cada uno de los modos de transporte. Esto se consigue fusionando los datos de actividad del transporte con los datos de consumo energético y emisiones. Esta fusión es lo que se entiende como eficiencia (energética o/y medio ambiental), también expresada como intensidad (entendida como consumo de recursos).

La intensidad energética es el consumo energético por unidad de transporte. Los ratios de consumo de energía se expresan normalmente en unidades de energía como kilowatios hora por vehículo-kilómetro, viajeros-kilómetro y plaza-kilómetro (kWh/veh-km, kWh/vkm, kWh/pkm). La eficiencia energética es el inverso de la intensidad; es decir, a más intensidad energética, menos eficiencia, y viceversa.

La eficiencia energética viene determinada por dos factores: la energía requerida para mover el vehículo y la utilización de la capacidad del vehículo. La energía requerida para mover el vehículo está determinada por el consumo de combustible, las condiciones de transporte (tráfico y geografía) y las características del vehículo (modelo y tamaño). La utilización de la capacidad del vehículo depende de los niveles de ocupación y carga de los vehículos individualmente, la utilización relativa de cada tipo de vehículo y la distribución de los distintos tipos de vehículos en el conjunto del parque (Leonardi y Baumgartner, 2004).

Paralelamente, se puede definir el concepto de eficiencia ambiental, para cada uno de los contaminantes atmosféricos, e incluso para la contaminación sonora. La eficiencia ambiental se mediría en emisiones de cada contaminante por las mismas unidades de transporte.

Eficiencia energética del transporte de viajeros y mercancías

El ratio medio de consumo de energía del transporte de viajeros en coche es 3 veces mayor que el del autobús. El avión es 23 veces menos eficiente que el tren de alta velocidad y 16 veces que el autobús. Según otros estudios, el coche consume 2,4 veces más energía por viajero-kilómetro que el autobús y el avión consume 27 veces más energía que el ferrocarril (Pérez-Martínez y Monzón, 2008). Kennedy (2002) estimó que la intensidad energética del coche es aproximadamente tres veces mayor que la del transporte público, en términos de energía por plaza-kilómetro. Niedzballa y Schmitt (2001) hicieron una comparación de la demanda de energía específica de los aviones y otros vehículos, y estimaron que los ratios de consumo de energía variaban desde 0,35 a 0,47 kWh vkm⁻¹ en coches de viajeros, 0,33 a 0,64 kWh vkm⁻¹ en trenes interregionales rápidos y 0,72 a 1,98 kWh vkm⁻¹ en aviones.

En la tabla 2 se analiza la evolución de los diversos modos de transporte de viajeros en España en el período 1990-2007. Cabe señalar que, desde 1990 hasta 2007, ha habido un descenso del 3% en la intensidad energética del transporte de viajeros expresada en términos de energía consumida por vkm. El descenso más significativo de la intensidad energética fue alcanzado en el sector aviación (29%) seguido del ferrocarril (23%), mientras que la intensidad se incrementó en el metro (5%). La mejora discreta en la eficiencia energética en el sector carretera es consecuencia de las mejoras tecnológicas de los vehículos y los combustibles.

La tabla 3 muestra que, desde 1990, ha habido un descenso del 26% en la intensidad energética del transporte de mercancías expresada en términos de energía consumida por tkm. El descenso más significativo de la intensidad energética fue alcanzado en el sector carretera (40%), mientras que la intensidad se incrementó en el sector ferrocarril (5%). La mejora en la eficiencia energética en el sector carretera podría ser consecuencia de las mejoras tecnológicas de los vehículos y los combustibles y buenas prácticas de gestión, como el incremento del tamaño medio de los camiones. Los nuevos motores electrónicos incrementan la eficiencia al controlar funciones clave (como la entrada del combustible al motor) a la vez que ayudan a monitorizar parámetros críticos del motor y funciones de diagnóstico (Ang-Olson y Schroeer, 2002; Lutsey y Sperling, 2005). Los camiones nuevos,

los cuales operan con sistemas de gestión electrónica, mejoran la eficiencia energética mediante un mejor control y diagnóstico de las operaciones de transporte.

El sector español de mercancías, como en otros países de la UE, ha experimentado un cambio modal en favor de la carretera desde el ferrocarril, y las intensidades energéticas muestran ratios comparables (ECMT, 2007). Los camiones españoles, como valor medio, demandan unos 2,6 MJ/tkm. Este valor es similar a los valores recogidos en otros estudios europeos (Steenhof et al., 2006; ECMT, 2007; Kamakaté y Schipper, 2008; Lenzen, 1999; Pimentel et al., 2004). EEUU y Australia, por su parte, muestran intensidades energéticas más bajas (2,5 MJ/tkm). Similarmente, los valores medios del sector marítimo y del ferrocarril fueron 0,3 y 0,4 MJ/tkm respectivamente. Estos valores son también parecidos a los valores encontrados en la literatura (van Wee et al., 2005; FEARNLEYS, 2006; Kristensen, 2002; UNCTAD, 2006).

Tabla 2– Actividad, intensidad y emisiones del transporte de viajeros (1990-2007)

Modo viajeros	Demanda (millones vkm)		% cambio	Intensidad energía (MJ/vkm)		% cambio	Emisiones (ktCO ₂)		% cambio
	1990	2007		1990	2007		1990	2007	
Carretera interurbana (coches, motos, autobuses)	207.765	405.083	95	2,35	2,18	-8	33.849	61.023	80
Ferrocarril nacional	16.736	21.856	31	0,46	0,35	-23	530	532	0
Avión nacional	7.050	24.021	241	13,79	9,80	-29	6.732	16.297	142
Barco nacional	1.057	1.612	53	1,42	1,35	-5	52	83	60
Metro (1996-2007)	3.111	4.819	55	0,52	0,55	5	93	183	96
Total viajeros	235.719	457.391	94	2,56	2,49	-3	41.256	78.117	89

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones (2008), Anuario Transporte y Servicios Postales (2008a) y elaboración propia

Tabla 3 – Actividad, intensidad y emisiones del transporte de mercancías (1990-2007)

Modo mercancías	Demanda (millones tkm)		% cambio	Intensidad energía (MJ/tkm)		% cambio	Emisiones (ktCO ₂)		% cambio
	1990	2007		1990	2007		1990	2007	
Carretera interurbana (camiones)	92.171*	258.870*	181	3,26	1,97	-40	20.801	35.295	70
Ferrocarril nacional	11.613	11.116	-4	0,40	0,42	5	319	320	0
Avión nacional	91	77	-15	34,73	31,57	-9	219	168	-23
Barco nacional	33.048	44.040	33	0,35	0,27	-23	799	821	3
Tubería	6.365	12.606	98	0,41	0,29	-29	182	257	41
Total mercancías	143.288	326.709	128	2,21	1,63	-26	21.927	36.861	68

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones 2008, Anuario Transporte y Servicios Postales 2008, elaboración propia. Nota: * datos procedentes de la EPTMPC 1990,2007 D. G. de Programación Económica. Ministerio de Fomento

Como se puede observar de las tablas anteriores, los mayores crecimientos porcentuales de la demanda se han dado en la carretera (mercancías) y en el avión (viajeros), con un aumento reducido de GEI y de consumos energéticos. Esto se debe, sin duda, a las grandes

mejoras tecnológicas del transporte por carretera de mercancías y aéreo de viajeros. Por otra parte, el coste del combustible es una partida importante, por lo que su reducción mejora la rentabilidad de los servicios por carretera y aéreos. El ferrocarril de viajeros, que se ha electrificado en las líneas con más demanda, ha reducido sus emisiones GEI y también ha renovado su parque, con una clara mejora en la eficiencia energética. La carretera de viajeros ha hecho también un esfuerzo neto, pues las emisiones de GEI han crecido menos que la demanda, pero la reducción de consumos ha sido menor, quizás porque la eficiencia energética era ya bastante alta. También puede influir el aumento de la congestión, la proporción de viajes metropolitanos y la utilización de vehículos cada vez más grandes.

En el caso de viajeros, la mejora de la eficiencia energética del modo carretera en particular ha sido pequeña para repercutir de forma considerable en las emisiones. Existe un trasvase modal hacia la carretera, al igual que en mercancías. Se observa que los otros modos de transporte no han conseguido inducir el cambio modal, por lo que no han conseguido modificar la demanda creciente del transporte por carretera.

Después de experimentar una ligera disminución al comienzo de los 90, debido a la recesión económica, las emisiones de carbono del transporte de mercancías se incrementaron exponencialmente hasta un 75%. Los factores más importantes de este cambio fueron el cambio de la actividad, cambio en la eficiencia de los combustibles y cambio del reparto modal en favor de la carretera. Si el resto de factores se hubieran mantenido constantes respecto 1990, el cambio de la actividad hubiera producido 121% más de emisiones. Sin embargo, la mejora de la eficiencia del fuel, liderada por el incremento de las eficiencias del transporte por carretera y marítimo, redujo considerablemente el incremento de las emisiones.

El aumento de las emisiones en nuestro país se ha debido fundamentalmente al aumento de la actividad del transporte de viajeros por carretera, el cual ha tenido menos margen de mejora en la eficiencia energética y de CO₂ que el transporte de mercancías por carretera.

Eficiencia ambiental de los vehículos de carretera

Para evaluar los efectos de los contaminantes atmosféricos emitidos por el transporte por carretera, hay que hacer una primera consideración sobre el parque de vehículos. La tecnología de los vehículos, relacionada con la edad de primera matriculación, influencia de modo importante las emisiones de contaminantes. Las distintas categorías Euro llevan aparejadas unas emisiones máximas de contaminantes que los vehículos deben respetar.

La tabla 4 muestra las emisiones estándar unitarias de las distintas normativas EURO para los principales contaminantes atmosféricos y en el caso de vehículos comerciales: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas materiales (PM). Se comprueba como las emisiones unitarias permitidas se hacen cada vez más restrictivas con el paso de los años (Euro 0 1990- Euro IV 2005). Se pone claramente de manifiesto el esfuerzo de renovación de la flota, lo que conlleva una reducción de emisiones.

Para calcular las emisiones por contaminante y año, se pueden multiplicar los factores de emisión de la tabla anterior por el consumo de combustible de los vehículos, expresado en MJ. Pese al aumento considerable del consumo de gasolina y gasóleo por el transporte de viajeros y mercancías por carretera, las emisiones de contaminantes atmosféricos han disminuido como consecuencia de las mejoras tecnológicas de vehículos y combustibles. Es de destacar el impacto positivo de este esfuerzo de los fabricantes por mejorar los vehículos, y de particulares y empresas de renovar la flota, sobre la calidad del aire.

Para conocer la evolución del ratio de intensidad (emisión de contaminante por unidad de transporte) de los contaminantes atmosféricos respecto a los viajeros y mercancías transportados se pueden dividir las toneladas de cada contaminante emitidas por los viajeros-km y toneladas-km transportados. La figura 4 muestra la reducción de la intensidad de los contaminantes desde 12,83 a 3,52 g por tonelada-km, 9,81-2,19, 1,98-0,12 y 0,71-0,12, para NO_x, CO, HC y PM respectivamente. Se puede comprobar la mejora de la eficiencia de la serie histórica, con reducciones muy significativas, en torno al 70% en los cuatro contaminantes. Esto hace posible que, pese al aumento considerable del transporte de mercancías por carretera, se hayan estabilizado e incluso reducido las emisiones de contaminantes. El sector transporte de mercancías, consciente de las externalidades negativas que producía e incentivado por las restricciones normativas impuestas, ha realizado un esfuerzo enorme en reducir las emisiones. Es un ejemplo claro de cómo una normativa y la conciencia ambiental del sector puede repercutir positivamente en la reducción de las externalidades de una forma económicamente viable. La misma conclusión podría trasladarse al transporte de viajeros por carretera.

Tabla 4: Emisiones estándar de las categorías Euro para vehículos pesados de carretera

g/kWh	Euro 0 (1990)	Euro I (1993)	Euro II (1996)	Euro III (2001)	Euro IV (2005)
CO	11,2	4,5	4	2,1	1,5
HC	2,4	1,1	1,1	0,66	0,46
NO _x	14,4	8	7	5	2
g/MJ	Euro 0 (1990)	Euro I (1993)	Euro II (1996)	Euro III (2001)	Euro IV (2005)
CO	3,111	1,250	1,111	0,583	0,417
HC	0,667	0,306	0,306	0,183	0,128
NO _x	4,002	2,222	1,945	1,389	0,556
PM	0,250	0,100	0,042	0,028	0,006
PM	0,9	0,36	0,15	0,1	0,02

Fuente: Handbook of environmental chemistry (2003)

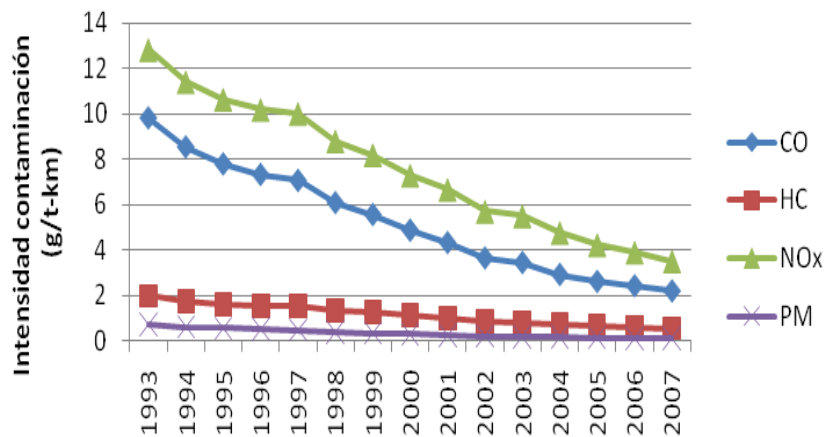


Figura 4: Intensidad de la contaminación atmosférica del transporte de mercancías por carretera en España.
Fuente: Elaboración propia

PROPUESTAS DE ESCENARIOS DE ACTUACIÓN

La reducción de las emisiones del transporte será difícil si los factores que han incrementado las emisiones en el pasado son factores importantes en el incremento de las emisiones futuras. Aunque las medidas de gestión de los sistemas de transporte tienen una reducción potencial de las emisiones limitada, dichas medidas son necesarias para disminuir otras externalidades del transporte: accidentes, congestión, ruido y contaminación atmosférica. Estas medidas son importantes teniendo en cuenta que las emisiones de otros sectores económicos han disminuido o han crecido en menor proporción que las del transporte.

En este apartado vamos a analizar algunas opciones de reducción de emisiones. Entre estas opciones, la eficiencia en el uso de los vehículos ofrece el mayor potencial y es clave para reducir drásticamente las emisiones de carbono y de otros contaminantes. En segundo lugar, cabe citar las mejoras tecnológicas de los vehículos y los combustibles. El recurso a la multimodalidad es quizás una opción que requiere una mayor cooperación entre operadores y coordinación técnico-administrativa. Conseguir una mayor equilibrio entre modos, dedicando cada uno a aquellos segmentos del mercado, donde son más competitivos, supondría una mayor eficiencia en factores de emisión y una reducción de costes por el mejor aprovechamiento de las capacidades de las redes existentes.

A pesar de la disminución de la intensidad energética y de emisiones de contaminantes, el crecimiento de la movilidad de personas y mercancías plantea escenarios de crecimientos de emisiones no deseables, y quizás insostenibles a largo plazo. Por ello van a revisarse la importancia de las medidas fiscales y la definición de escenarios de contención de emisiones a largo plazo.

Impacto del precio del combustible sobre el consumo

Se puede constatar que los cambios de precios del combustible apenas han afectado a los cambios en la actividad del transporte y el consumo de energía del transporte de mercancías y viajeros. Hubo aumentos considerables del precio del combustible en 1993 y 2000 y también descensos durante 2000 y 2004, pero sin efecto apreciable en la curva de consumo. Además, existe una relación inversa entre el precio del combustible y la intensidad del transporte; parece que los precios altos del combustible conllevan reducciones de la intensidad energética. El aumento constante del precio del combustible implica que existe un aumento potencial de los factores de carga e índice de ocupación de los vehículos. Resulta complicado determinar empíricamente la razón para esta relación pero el precio alto del combustible podría ser una explicación y podría incluso contribuir a la mejora de la eficiencia energética.

Las regulaciones en los pesos de los camiones, los peajes de carretera, los horarios de conducción, etc., podrían afectar a los costes de operación por kilómetro incluso más que los propios costes del combustible; el papel del precio del combustible podría estar eclipsado por estos factores (aunque el combustible representa al menos un tercio de los costes de operación por km, los cuales incluyen los componentes de los costes fijos y variables).

Los impactos a corto plazo de la subida del combustible son limitados, en parte debido a la falta de alternativas y también a los hábitos de movilidad asociados a determinados modos, como el coche. Según TERM (2007), un aumento del 10% en los combustibles produce una reducción media del 2,5% a corto plazo (primer año) en el consumo de combustible para vehículos de carretera de viajeros. El impacto es mayor a largo plazo, al disponer de mayores alternativas, como cambiar el lugar de trabajo o de residencia, y para el uso de vehículos más eficientes. En el caso del transporte de viajeros en España, la variación de los precios del combustible no ha tenido impacto en la evolución del transporte de viajeros. Los precios del combustible, que han crecido de manera muy importante en los últimos años, no han afectado al acelerado ritmo de crecimiento de la demanda del transporte; no obstante, hay que señalar que estos crecimientos se han dado en un marco de acelerado crecimiento de la economía española, lo que puede enmascarar la sensibilidad de la demanda al precio.

Escenarios de emisiones de CO₂ para 2025 en el transporte de mercancías y estrategias de mitigación

En este apartado se hace un análisis y predicción a medio plazo del sector transporte de mercancías como ejemplo de propuestas de escenarios de actuación. Se diseñan tres escenarios que estiman las emisiones de CO₂ del sector transporte de mercancías español en 2025. Los escenarios son descripciones de comportamientos futuros del sector que incluyen repartos modales, tecnologías y mezcla de combustibles diferentes (Pacala y Socolow, 2004). Los escenarios tienen en cuenta aspectos logísticos y de utilización de los vehículos (retornos en vacío, condiciones de tráfico, etc.). A continuación se describen en

detalle los escenarios junto con un resumen de los parámetros fundamentales que los definen y su variación estimada.

Escenario 1- Tendencial “Business As Usual” (BAU), asume que las tendencias en la actividad, intensidad energética, combustible y repartos modales observados durante el periodo 1990-2007 continúan hasta 2025. Existen pequeños trasvases modales hacia la carretera desde el ferrocarril y continúa la preponderancia de los combustibles fósiles, fundamentalmente diesel. La intensidad energética de la carretera continúa disminuyendo en España debido a las normativas medioambientales cada vez más estrictas y a las mejoras tecnológicas de los motores. La utilización de la capacidad en el escenario base es 9,4 toneladas kilómetro por vehículo kilómetro con carga (2007). Este valor ha cambiado muy poco desde 9,0 en 1997 (4%). El porcentaje de los vehículos kilómetro recorridos en vacío en los años estudiados es parecido (alrededor del 26%). La tendencia en la utilización de la capacidad de los vehículos continúa hasta 2025 aunque se espera que no existan cambios mayores en la carga media transportada por los camiones debido a la incertidumbre de los factores de proyección. Los factores de proyección que pueden afectar los cambios futuros en la utilización de la capacidad de los vehículos son el cambio hacia camiones articulados mayores desde camiones rígidos más pequeños (regulado por directivas nacionales y europeas relacionadas con el peso máximo de los camiones), la naturaleza del tipo de mercancías transportadas y la estructura de la cadena de suministro.

Escenario 2- Desarrollo del Sector Ferrocarril en España (DSF), asume un aumento de la cuota modal del ferrocarril y una mejora de la eficiencia energética a través de la introducción de nuevas tecnologías. El transporte de mercancías por ferrocarril constituirá cerca del 16% del transporte total de mercancías en 2025 (dos veces la proporción de 1990). Este escenario es consecuente con las medidas políticas de la UE para promover los modos limpios de transporte porque, en casi todos los países europeos, el sector ferrocarril está perdiendo reparto modal (Vassallo y Fagan, 2007; Janic, 2007). Mientras que la intensidad energética del ferrocarril disminuyó 2% entre 2007 y 2025 en el escenario 1, ésta disminuye hasta un 20% en este escenario debido a la introducción de nuevas tecnologías de propulsión eléctrica, la cual está en el contexto de la nueva regulación del ferrocarril (Izquierdo y Vassallo, 2004). La disminución de la intensidad es específica del combustible utilizado y se beneficia del mejor comportamiento energético de las locomotoras eléctricas sobre los motores diesel.

Escenario 3- Eficiencia de la Carretera y desarrollo del Biodiesel (ECB), asume que la carretera mantiene la dominancia en el sector transporte de mercancías, al tiempo que se producen mejoras importantes en la eficiencia de los motores de propulsión diesel y progresan los motores biodiesel. Los motores diesel muestran un aumento de 55% en la eficiencia respecto a los niveles actuales, y los avances significativos de los motores biodiesel los hacen más competitivos. Se podría alcanzar un incremento del 55% en la eficiencia de los vehículos comerciales de carretera diesel en 2025 (desde 2007) mediante mayores mejoras tecnológicas de los motores y combustibles y el incremento de la capacidad de los vehículos (acuerdos ACEA, 2006; programa AUTOIL, 1999). Este incremento de la eficiencia sigue la tendencia del escenario base (en el escenario BAU se

espera un aumento del 45% en la eficiencia). Podría conseguirse un 10% adicional en la mejora de la eficiencia mediante la operación de vehículos de productividad alta. Asumiendo una renovación de flota cada 5 años, al comienzo de 2020 todos los camiones nuevos tienen que ser un 55% más eficientes, para asegurar que en 2025 la flota completa es más eficiente en este porcentaje. Después de explorar la sensibilidad del escenario a los cambios de la introducción del biodiesel en el mercado, en 2025, el biodiesel contribuirá con cerca del 10% de la energía consumida por la carretera. La elección del 10% del biodiesel se justifica respecto a la directiva de biocombustibles de la UE, la cual pretende incrementar el reparto de los biocombustibles hasta 5,8% en términos de contenido energético del consumo total de combustible en 2010 (Biofuels barometer, 2008). Comparado con muchos países europeos, esto significa una introducción exitosa del biodiesel. El biodiesel se estudia desde un análisis del ciclo de vida (se incluye el CO₂ emitido en producir el biocombustible), y el factor de carbono real para el biodiesel (56,1 ktCO₂eq./PJ) es 24% menor que el del diesel convencional. Un reparto total del biodiesel de 10%, bien como mezcla o entre el consumo de diesel total, podría reducir las emisiones totales en 2,2% y tener un impacto significativo en el ciclo de vida de la carretera (Hill et al., 2006). El escenario 3 se basa en un modelo de análisis de ciclo de vida para calcular los beneficios del biodiesel en términos de CO₂ el cual no tiene en cuenta el carbono liberado durante los cambios de usos del suelo (i.e. cultivos de colza en áreas deforestadas) y consideraciones derivadas (i.e. distorsión económica de los mercados).

Los escenarios tienen las mismas estimaciones para los niveles de demanda de transporte futura, los cuales están basados en que la proyección de la actividad del transporte de mercancías español hasta 2007, tendencia que supondría un incremento del 79,5%, entre 2007 y 2025, pero con repartos diferentes entre los modos de transporte y las diferentes tipología de vehículos. Con la excepción de los trenes eléctricos, únicamente se estudian en los escenarios los vehículos que utilizan motores de combustión interna. Las diferencias en las emisiones de CO₂ entre los escenarios son el resultado de, por ejemplo, considerar distintas tecnologías de motor, diferencias en las resistencias aerodinámica y de rodadura y distintos repartos modales (Orasch y Wirl, 1997; Advenier et al., 2002, Schipper, 2007). Los escenarios representan diferentes condiciones de combustible: en BAU, los combustibles fósiles se utilizan en todos los vehículos a excepción de los trenes eléctricos (como se han utilizado en el pasado); en DSF, el consumo de los combustibles fósiles disminuye en favor del uso de la electricidad; en ECB, el biodiesel es utilizado en el 10% de los camiones. Los resultados se recogen en la figura 5 y tabla 5.

La primera reflexión es que se necesitan acciones de este tipo para conseguir los objetivos planteados en la E4 para el sector, si bien, no permitirían llegar a cumplir el objetivo de Kioto, ni siquiera en 2025.

La segunda evidencia es que desde el punto de vista de emisiones de GEI, sería igualmente eficiente, el escenario DSF de potenciación del ferrocarril, que el ECB de potenciación de la carretera, con vehículos y combustibles eficientes. En el escenario BAU, las emisiones de CO₂ aumentan por encima de 56 MtCO₂eq. (aumento del 53% desde 2007 y del 167% respecto al año base 1990). Es el escenario con un aumento más significativo en las

emisiones. El escenario donde se alcanzar mayores reducciones es el ECB, donde las emisiones caen un 3,3% (1,22 millones de toneladas por año menos que en el escenario BAU y 21 millones de toneladas menos en todo el periodo global 2008-2025). Cuando consideramos el escenario DSF, la reducción de las emisiones es algo menor (1,20 millones de toneladas por año menos que BAU, las cuales representan una disminución de un 2,6% desde 2007).

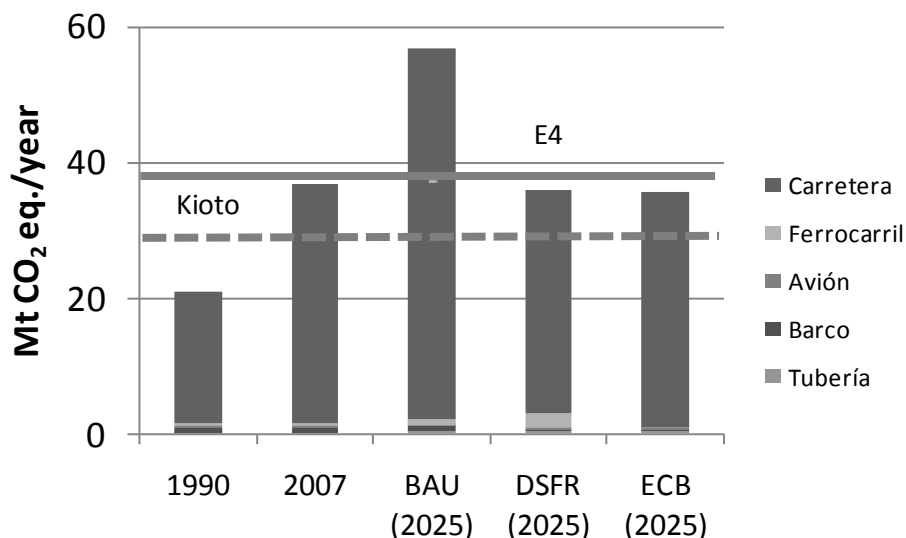


Figura 5: Escenarios de emisión de GEI procedentes del transporte de mercancías, 1990, 2007 y 2025 (BAU, DSF, ECB). Fuente: Elaboración propia.

En los escenarios DSF y ECB, las emisiones de CO₂ se reducen a niveles inferiores al objetivo de la estrategia E4, mientras que el objetivo del Protocolo de Kioto no se alcanza en ningún escenario. En el Protocolo de Kioto, España se ha comprometido a un incremento medio anual de GEI, por consiguiente de consumo, de 15% por encima del nivel de 1990, entre 2008 and 2012 (27,9 Mt CO₂ eq. por año). En la estrategia E4, España conviene alcanzar 38,2 Mt CO₂ eq. al año en 2012, lo cual significa 4,5 Mt menos que las 42,7 correspondientes al escenario BAU (Ministerio de la Presidencia, 2006).

En el escenario ECB, las emisiones de los camiones de mercancías son inferiores que en 2007 en 2,1%, resultado de la modificación de los distintos parámetros de combustión debido a los avances tecnológicos. Similarmente, las emisiones de los sectores ferrocarril y marítimo son inferiores en 51,7% y 33,7% respectivamente. En este escenario, el transporte marítimo produce 1,5% de las emisiones de CO₂, menos que en 2007 (2,2%). Si hubiéramos considerado los barcos internacionales en el estudio, el reparto del transporte marítimo hubiera sido bastante mayor. Las emisiones de las tuberías son 12% mayores que en 2007

y las emisiones de los aviones son 53,2% inferiores, lo cual resulta de la actividad aérea decreciente. En este escenario, el incremento de la actividad del transporte neutraliza las reducciones alcanzadas por las mejoras tecnológicas. Las emisiones podrían ser menores que en el objetivo de Kioto si no hubiera incremento en la actividad del transporte por carretera. Con el escenario DSF, las emisiones de la carretera y ferrocarril son 7% menores y 578,3% mayores, respectivamente, que en 2007, como consecuencia del incremento de la actividad del ferrocarril. Con el nivel tecnológico del escenario BAU, las emisiones de todos los modos (a excepción del aéreo) son mayores que en 2007.

La posibilidad de utilizar vehículos mayores o vehículos con un desarrollo mayor nos es analizada en los escenarios. Leonardi y Baumgartner (2004) demuestran que el uso de los camiones de mayor eficiencia energética de los que se disponen en Alemania (con una tara de 11t, un peso máximo del vehículo de 40t y un factor de carga medio de 70%) podría reducir las emisiones de CO₂ en 20-30%. Similarmente, Tunnel y Brewster (2005) muestran que la operación de vehículos de productividad alta puede disminuir el consumo de combustible y las emisiones de CO₂, en base de toneladas-kilómetro, en 4-27% cuando se comparan con los vehículos estándar. Comparado con los niveles actuales, si hubiera un incremento del tamaño de los vehículos y desarrollo, se podrían alcanzar reducciones adicionales del consumo energético y de las emisiones del orden de las encontradas en los escenarios.

El estudio podría completarse estudiando escenarios adicionales de ahorro del consumo de energía en el transporte de mercancías y analizando políticas dirigidas al fomento del ferrocarril, disminución de la carretera y camiones más eficientes (i.e. Directiva Euroviñeta) (Vassallo et al., 2008).

Tabla 5: Emisiones de CO₂, 1990-2007-2025, para los escenarios de estudio (BAU, DSFR, ECB)

Modo	Emisiones (MtCO ₂ eq.)					Incrementos (Δ 2007)			Emisiones (%)		
	1990	2007	BAU (2025)	DSFR (2025)	ECB (2025)	BAU (2025)	DSFR (2025)	ECB (2025)	BAU (2025)	DSFR (2025)	ECB (2025)
Carretera	19,6	35,3	54,6	32,8	34,6	54,6	-7,0	-2,1	96,8	91,4	97,0
Ferrocarril	0,3	0,3	0,9	2,2	0,2	171,5	578,3	-51,7	1,5	6,0	0,4
Avión	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	-3,1	-53,2	-53,2	0,3	0,2	0,2
Barco	0,8	0,8	0,8	0,5	0,5	0,4	-33,7	-33,7	1,5	1,5	1,5
Tubería	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	36,2	12,0	12,0	0,6	0,8	0,8
Total	21,1	36,9	56,3	35,9	35,6	52,9	-2,6	-3,3	100,0	100,0	100,0

CONCLUSIONES

Diagnóstico sobre la eficiencia energética del transporte y su contexto

El transporte en España es responsable de casi el 31% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con el consumo humano de energía. Si los factores que generan la actividad de transporte continúan, así como las emisiones de CO₂, la actividad de transporte podrá incrementarse para 2020 en más de un 157% sobre el nivel del Protocolo de Kioto (año base de referencia 1990). Bajo el Protocolo de Kioto, España se comprometió a no superar en el horizonte 2008-2012 un aumento del 15% de incremento sobre los niveles de 1990. Este compromiso se consideraba moderado, y dejaba margen a la reactivación económica del país, por cuanto el compromiso global de la Unión Europea era reducir un 8% globalmente.

Sin embargo, nuestro país no ha cumplido las expectativas y los crecimientos han sido muy superiores al compromiso adquirido, en particular en el sector del transporte. Durante el periodo 1990-2020, las emisiones de CO₂ debidas al transporte se espera que se incrementen en 196%, contabilizando 193,3 millones de toneladas de carbono en 2020. Puede afirmarse, por tanto, que nuestro país se encuentra en el peor de los escenarios posibles, pues no sólo su situación actual es de las más deficientes de Europa, sino que la tendencia es a empeorar más, y de manera acelerada. Las emisiones de GEI crecen a un ritmo superior al de nuestros vecinos comunitarios, y además los modos dominantes y crecientes son los menos eficientes energéticamente.

En las páginas precedentes se han analizado las tendencias del crecimiento del transporte de mercancías y viajeros, y de los consumos energéticos y emisiones de GEI asociadas a dicho proceso. El diagnóstico es claro:

1. un claro incremento de la actividad de transporte, más acusada que el crecimiento económico;
2. un progresivo aumento del desequilibrio modal;
3. un positivo cambio tecnológico en los vehículos y combustibles y una mejora de los sistemas de gestión de flotas, que ha mejorado la eficiencia energética;
4. un aumento del parque automovilístico, con crecimientos elevados de la motorización; y
5. una escasa oferta de transporte multimodal.

El análisis de los procesos que conducen a los cambios de consumo energético y emisiones de CO₂ confirma el diagnóstico y ha permitido identificar la sensibilidad del modelo energético del sector transporte ante el crecimiento económico, la distribución modal, el mix

energético, etc. En el análisis se excluye el transporte marítimo, ferroviario y aéreo internacional, y los resultados del crecimiento de las emisiones podrían estar subestimados debido a la importancia creciente del comercio internacional.

El transporte de mercancías y viajeros ha crecido vinculado al crecimiento económico, pero a un ritmo superior, sobre todo en el caso de los viajeros. Estos crecimientos han sido muy superiores al crecimiento demográfico, lo que indica un aumento del número de viajes y su longitud per cápita. Estos datos indican un crecimiento de la actividad, pero también un cambio en el modelo territorial, con una mayor dispersión de actividades, tanto industriales, como comerciales y residenciales.

Diagnóstico sobre la eficiencia ambiental del transporte

En el caso de las emisiones de contaminantes atmosféricos, la situación es completamente diferente: ha habido una mejora neta que presenta tendencias de reducción sostenidas. Los contaminantes que, hace sólo unos años, constituían el principal problema del transporte – monóxido de carbono y óxidos de azufre- han reducido a más de la mitad, por debajo de los límites peligrosos para la salud, y continúan descendiendo.

Sin embargo, los óxidos de nitrógeno –gas precursor del ozono- y las partículas no se han reducido suficientemente, estando globalmente en los límites admisibles para la salud. Esto supone que, si bien la media está contenida, hay abundantes episodios de elevación de las concentraciones de contaminantes, en que se superan los dichos límites. Estos problemas se dan, casi exclusivamente, en las zonas urbanas, donde la intensidad del transporte es mayor y donde se concentra el 80% de la población.

Propuestas para reducir el consumo de energía y las emisiones

A la vista de todo lo expuesto, podemos realizar unas propuestas para la reducción del consumo energético y de emisiones de contaminantes atmosféricos.

A nivel estratégico, la primera propuesta es relativa a la multimodalidad, tanto en viajeros como mercancías; o dicho de otro modo la necesaria complementariedad entre modos, o comodalidad, en palabras de la Unión Europea (CE, 2006). Es innegable que el ferrocarril tiene potencial para ofrecer mejores ratios de eficiencia energética y ambiental, pero siempre y cuando tenga tasas de ocupación elevadas, lo que no es posible en la mayor parte de las relaciones de transporte. Esto hace que los ratios medios sean comparables, como ya se ha señalado en el apartado anterior. También hay que señalar que la situación actual del ferrocarril en nuestro país es una de las peores en el contexto europeo, con una cuota de mercado de orden de la mitad de la media europea. Por otra parte, hay que tener en cuenta la diferencia de costes en prestación del servicio, y en las instalaciones necesarias, lo cual escapa al alcance de este trabajo, pero que en proceso global de toma de decisiones ha de ser tenido en cuenta, y máxime en un contexto de crisis económica, que requiere reducir subvenciones e inversiones públicas.

Además, los servicios de viajeros y mercancías por carretera, son siempre complemento necesario para los otros modos: en el acceso y dispersión se precisa recurrir a los modos viarios, salvo en muy contadas excepciones. Esto es válido para el ferrocarril, y mucho más en el caso del transporte aéreo y marítimo. Es lo que se denomina, en la literatura internacional, el problema de “last mile” Böge (1995): la comunicación entre la ciudad de destino y el lugar concreto de dicho destino.

Otra propuesta a nivel estratégico que se escapa a las consideraciones de este estudio, e incluso del propio sector transporte, es una planificación conjunta de los desarrollos urbanos, industriales y comerciales, con las redes de transporte. Los procesos de deslocalización de actividades son una de las principales causas de la falta de control de la demanda, a pesar de los esfuerzos continuados. Si no se condiciona la localización, según tipo de actividad, a la existencia de adecuadas redes y servicios de transporte, no será posible reducir la actividad de transporte sin comprometer el desarrollo económico. Esto también tiene una importante consecuencia sobre los costes unitarios, pues propicia lo más insostenible: mover los medios de transporte con ratios de ocupación realmente bajos.

A nivel táctico, podemos enumerar una serie de actuaciones en los diversos modos de transporte, algunas de las cuales no son sino intensificación de las que ya se están llevando a cabo.

Por un lado, están las mejoras en la eficiencia energética y ambiental de la prestación de los servicios. Incluye las mejoras tecnológicas en todos los modos, a lo cual ayudan, sin duda, los incentivos económicos en forma de reducción de impuestos y de aumento de tasas, caso negativo. Esta medida supone el mantenimiento y la renovación de flotas, el uso de combustibles y formas de propulsión de baja intensidad energética y emisiones. También podrían considerarse las medidas para mejorar las pautas de conducción y operación orientadas a lograr de mínimos consumos y emisiones: velocidades óptimas, procedimientos de conducción eficiente, aumento de las tasas de ocupación y factor de carga. Si se da la concentración de flujos deseable, esto permitiría aumentar el tamaño de los vehículos, aumentando la eficiencia. En sentido contrario, debería intensificarse el tratamiento fiscal desincentivador para los vehículos de alto consumo, como los coches 4x4 o de alta potencia, sobre todo en trayectos urbanos.

En segundo lugar, no podemos obviar las políticas tendentes a la internalización de los costes externos, que debe hacerse con cuidado, y sustituyendo otras tasas e impuestos, para no comprometer el desarrollo económico y facilitar una competencia modal, donde se incluyan todos los costes. Existen, además, externalidades para los servicios de transformación que no están reflejadas actualmente en el precio del mercado, como los retrasos debidos a la congestión y que deberían considerarse.

Desde el punto de vista de la administración pública, se deben considerar las medidas para priorizar los servicios de transporte público (carriles bus, prioridad semafórica, etc.) y facilitar que se complementen con la utilización de los modos no motorizados en zonas urbanas:

caminar y montar en bicicleta. Esto se puede potenciar mejorando las infraestructuras para el transporte público, zonas peatonales y redes ciclistas y aplicando restricciones al vehículo privado. Otro campo de actuación para las administraciones públicas es la reducción de la congestión, que produce una caída de la eficiencia energética y ambiental, y además importantes costes sociales y económicos.

Podemos concluir que la mejora de la eficiencia energética y ambiental del sector transporte no puede abordarse sino con el concurso de todos los agentes implicados: operadores, administraciones y usuarios. Debe haber un cambio en las pautas de movilidad (viajeros) y demanda de servicios de transporte (mercancías), especialmente en zonas urbanas, que no puede producirse sin necesarias inversiones públicas para priorizar los servicios de transporte y facilitar la integración modal, políticas fiscales y de precios que propicien la toma de decisiones con una lógica social y ambiental, y un cambio de modelo que priorice la calidad del servicio y la sostenibilidad.

REFERENCIAS

- ACEA (2006). European Automobile Industry Report. ACEA's Annual Tax Guide, Brussels.
- Acutt, M. y J. Dodgson (1996). Policy instruments and greenhouse emissions from transport in the UK. *Fiscal Studies*, 17(2), 65-82.
- Advenier, P., P. Boisson, C. Delarue, A. Douaud, C. Girard and M. Legendre (2002). Energy Efficiency and CO₂ Emissions of Road Transportation: Comparative Analysis of Technologies and Fuels. *Energy & Environment*, 13, 631-646.
- AEMA (2008). Transport and environment: facing a dilemma. TERM 2007. Copenhagen.
- Ang-Olson, J. y W. Schroeer (2002). Energy efficiency strategies for freight trucking. *Transportation Research Record*, 1815, 11-18.
- AUTOIL (1999). Auto-Oil II Cost-Effectiveness Study Annex. Spain Part III: The Transport Base Case. The European Commission, Standard & Poor's DRI and KU Leuven.
- Berg, W. (2003). Legislation for the reduction of exhaust gas emissions. En: *Traffic and environment, The handbook of environmental chemistry* (D. Gruden, ed.), Vol. 3 part T, pp. 175-253. Springer, Berlin Heidelberg.
- Biofuels barometer (2008). 7.7 MTOE consumed in EU in 2007. *Systèmes Solaires, le journal des énergies renouvelables*, 185, Paris.
- Böge, S (1995). The well-travelled yoghurt pot: Lessons for new freight transport policies and regional production. *World transport-Policy & Practice*, 1, 7-11.
- CE PARLAMENTO EUROPEO y CONSEJO (2006). Directive 2006/32/CE on energy end-use efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/CE. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, L 114, 64-114.
- CE (2001). European Commission's Transport White Paper.
- CE (2005). Green Paper on energy efficiency.
- CE (2006). Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper.
- CE (2007). European Commission's Green Paper - Towards a new culture for urban mobility.

- Cuddihy, J., C. Kennedy y P. Byer (2005). Energy use in Canada: environmental impacts and opportunities in relationship to infrastructure systems. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 32, 1-15.
- ECMT (2007). Cutting transport CO₂ emissions: what progress? European Conference of Ministers of Transport, OECD, Paris.
- EMEP y CORINAIR, (2007). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. Technical report No 30. Copenhagen, European Environment Agency, EEA.
- FEARNLEYS (2006). Fearnleys review 2006. Annual report. Fearnresearch, Oslo.
- Goodwin, P., J. Dargay, y M. Hanly (2004). Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income: a review. *Transport Reviews* 24, 275-292.
- Hernández-Martínez, F (2006). La producción de energía eléctrica en España. Fundación de las Cajas de Ahorro, Madrid.
- Hill, J., E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky Y Tiffany, D. (2006). From the Cover: Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, 11206-11210.
- IDAE (2008). Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España E4. Madrid.
- INE (2008). Contabilidad Nacional de España. Valor añadido bruto a precios básicos. Madrid.
- IPCC (1995). Greenhouse Gas Inventory Reference Manual: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Bracknell, U.K.
- Izquierdo, R. y J.M. Vasallo (2004). Nuevos sistemas de gestión y financiación de infraestructuras de transporte. Colegio de Ingenieros de Caminos, Madrid.
- Janic, M. (2007). Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network. *Transportation Research Part D*, 12, 33-44.
- Kahn Ribeiro, S., S. Kobayashi, M. Beuthe, J. Gasca, D. Greene, D.S. Lee, Y. Muromachi, P.J. Newton, S. Plotkin, D. Sperling, R. Wit y P.J. Zhou (2007). Transport and its infrastructure. En: *Climate Change 2007, Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Metz, B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave y L.A. Meyer, eds.), pp. 323-385. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kamakaté, F. y L. Schipper (2008). Trends in truck freight energy use and carbon emissions in selected OECD countries from 1973 to 2003. TRB, Washington.
- Kennedy, C.A. (2002). A comparison of the sustainability of public and private transportation systems: study of the Greater Toronto Area. *Transportation* 29 (4), 459-493.
- Kristensen, H.O. (2002). Cargo transport by sea and road-technological and economic environmental factors. *Marine Technology* 39 (4), 239-249.
- Lenz, H.P., Prüller, S. y D. Gruden (2003). Means of transportation and their effect on the environment. En: *The Handbook of Environmental Chemistry* (D. Gruden, ed.), Vol. 3, pp. 107-174. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Lenzen, M. (1999). Total requirements of energy and greenhouse gases for Australian transport. *Transportation Research Part D*, 4, 265-290.
- Leonardi, J. y M. Baumgartner (2004). CO₂ efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. *Transportation Research Part D*, 9, 451-464.
- Lutsey, N., y D. Sperling (2005). Energy efficiency, fuel economy, and policy implications. *Transportation Research Record*, 1941, 8-17.

- Ministerio de Economía (2008). Informe Anual de Recaudación Tributaria Año 2007. Madrid.
- Ministerio de Fomento (2008a). Los transportes y los servicios postales. Madrid.
- Ministerio de Fomento (2008b). Encuesta Permanente de Transporte de Mercancías por Carretera 2007 y 1994. Secretaría Técnica Ministerio de Fomento, Madrid.
- Ministerio de la Presidencia (2006). REAL DECRETO 1370/2006 del Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012. Boletín Oficial del Estado, Vol. 282, 41.320-41.440.
- Ministerio de Medio Ambiente (2008). Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España-Edición 2008 (serie 1990-2007), sumario de resultados. Madrid.
- Ministerio del Interior (2008). Anuario Estadístico General 2007. Madrid.
- Niedzballa, H.A. y Schnitt, D. (2001). Comparison of the specific energy demand of aeroplanes and other vehicle systems. *Aircraft Design* 4 (4), 163-178.
- Orasch, W. y F. Wirl (1997). Technological efficiency and the demand for energy (road transport). *Energy Policy* 25, 1129-1136.
- Pacala, S. y R. Socolow (2004). Stabilization wedges: solving the climate problem for the next 50 years with current technologies. *Science* 305, 968-972.
- Pérez-Martínez, P.J. y A. Monzón (2008). Informe sobre transporte y medio ambiente. Trama 2008. Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Pimentel, D., J. Pleasant, J. Barron, N. Gaudioso, E. Pollock, Y. Chae, A. Kim, C. Lassiter, A. Schiavoni, M. Jackson y A. Eaton (2004). US energy conservation and efficiency: benefits and costs. *Environment, Development and Sustainability*, 6, 279-305.
- Rodenburg, C.A., B. Ubbels y P. Nijkamp (2002). Policy scenarios for achieving sustainable transportation in Europe. *Transport Reviews* 22, 449-472.
- Schipper, L., L. Scholl y L. Price (1997). Energy use and carbon emissions from freight in 10 industrialized countries. *Transportation Research Part D*, 2, 57-76.
- Schipper, L. (2007). Automobile fuel; economy and CO₂ emissions in industrialized countries: troubling trends through 2005/2006. World resources institute, Washington.
- Sperling, D. (2004). Environmental impacts due to urban transport. En: *Urban Transport and the Environment. An International Perspective* (Nakamura, H., Y. Hayashi y A.D. May, eds.), 99-189 pp. Elsevier, Oxford.
- Steenhof, P., C. Woudsma y E. Sparling (2006). Greenhouse gas emissions and the surface transport of freight in Canada. *Transportation Research Part D*, 11, 369-376.
- Tunnel, M., y R. M. Brewster (2005). Energy and emissions impacts of operating higher-productivity vehicles. *Transportation Research Record*, 1941, 107-114.
- UN-FCCC (2007). Determination of the mitigation potential and to the identification of possible ranges of emission reduction objectives of Annex I Parties. UN, New York.
- UNCTAD (2006). Review of maritime transport 2005. United Nations Conference on Trade and Development, New York and Geneva.
- Van Wee, B., P. Janse y R. Van Den Brink (2005). Comparing energy use and environmental performance of land transport modes. *Transport Reviews*, 25, 3-24.
- Vassallo, J.M. y M. Fagan (2007). Nature or nurture: why do railroads carry greater freight share in the United States than in Europe? *Transportation* 34, 177-193.
- Vassallo, J.M., C. Solís, P.J. Pérez-Martínez y P. Pérez (2008). Balance económico, fiscal, social y medio ambiental del sector transporte de mercancías en España. Fundación Francisco Corel, Madrid.